

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PISA

Facoltà d'Ingegneria

Corso di studi in Ingegneria Aerospaziale



Effetti della forma in pianta sul comportamento aeroelastico
di ali di elevato allungamento: confronto fra un'ala a freccia e
un'ala con forma in pianta curva

Relatore

Prof. Ing. Mario Rosario Chiarelli

Candidati

Matteo Ciabattari

Michael Cagnoni

Anno Accademico 2012/2013

11/06/2013

Indice

Sommario.....	pag.VII
----------------------	----------------

Capitolo 1.....	pag.1
------------------------	--------------

Introduzione.....	pag.1
--------------------------	--------------

1.1 Cenni alle caratteristiche del Boeing 787 Dreamliner.....	pag.11
--	---------------

1.2 Obiettivi della tesi.....	pag.13
--------------------------------------	---------------

Capitolo 2.....	pag.14
------------------------	---------------

Concezione della struttura di un velivolo.....	pag.14
---	---------------

2.1 Introduzione.....	pag.14
------------------------------	---------------

2.2 L'ala.....	pag.14
-----------------------	---------------

Capitolo 3.....	pag.19
------------------------	---------------

Analisi del problema dinamico.....	pag.19
---	---------------

3.1 Cenni sulla dinamica di strutture aeronautiche.....	pag.19
--	---------------

3.2 Tecniche di soluzione approssimata.....	pag.25
--	---------------

Capitolo 4.....	pag.28
------------------------	---------------

Analisi del problema aeroelastico.....	pag.28
---	---------------

4.1 Introduzione.....	pag.28
------------------------------	---------------

4.2 Aeroelasticità statica.....	pag.31
--	---------------

4.2.1 Ala dritta uniforme.....	pag.35
---------------------------------------	---------------

4.2.2 Ala a freccia uniforme.....	pag.41
--	---------------

4.3 Aeroelasticità dinamica.....	pag.46
4.3.1 Metodo “p”.....	pag.47
Capitolo 5.....	pag.51
Realizzazione dei modelli geometrici e delle griglie aerodinamiche.....	pag.51
5.1 Descrizione dell’ala a freccia e dell’ala di forma in pianta curva.....	pag.51
5.2 Realizzazione del profilo in Catia® V5R20.....	pag.53
5.3 Realizzazione dell’ala curva in Catia® V5R20.....	pag.54
5.4 Realizzazione dell’ala a freccia in Catia® V5R20.....	pag.57
5.5 Realizzazione del modello aerodinamico per l’ala curva in Catia® V5R20.....	pag.59
5.6 Realizzazione del modello aerodinamico per l’ala a freccia in Catia® V5R20.....	pag.70
5.5 Realizzazione delle griglie aerodinamiche in Gambit® 2.4.....	pag.73
Capitolo 6.....	pag.79
Impostazione del modello aerodinamico per le analisi delle ali rigide in Star-CCm+® 6.04.014.....	pag.79
6.1 Modello per l’ala curva e per l’ala a freccia.....	pag.79
Capitolo 7.....	pag.98
Risultati delle simulazioni aerodinamiche dei modelli rigidi.....	pag.98

Capitolo 8	pag.142
Impostazione del modello strutturale-elastico dell'ala curva e dell'ala a freccia in Abaqus® 6.11	pag.142
8.1 Introduzione	pag.142
8.1.1 Breve rivisitazione del metodo agli elementi finiti.....	pag.143
8.1.2 Metodo implicito agli elementi finiti.....	pag.143
8.1.3 Passi fondamentali dell'analisi in Abaqus® 6.11.....	pag.147
8.1.4 Componenti del modello di analisi in Abaqus® 6.11.....	pag.148
8.2 Impostazione del modello dell'ala curva per l'analisi modale in Abaqus® 6.11 e risultati	pag.148
8.3 Impostazione del modello dell'ala a freccia per l'analisi modale in Abaqus® 6.11 e risultati	pag.167
8.4 Risultati dell'analisi modale per entrambi i modelli provvisti di motore in ala	pag.171
 Capitolo 9	pag.174
Impostazione dei modelli CFD e FEM per le analisi aeroelastiche statiche e dinamiche delle due ali	pag.174
9.1 Preparazione del modello per la co-simulazione in Abaqus® 6.11	pag.177
9.2 Preparazione del modello per la co-simulazione in Star-CCm+® 6.04.014	pag.181
 Capitolo 10	pag.183
Aeroelasticità statica	pag.183
10.1 Confronto fra le curve C_L-α, C_D-α, C_D-C_L, C_D-Mach per l'ala curva elastica e per l'ala a freccia elastica	pag.183

10.2 Confronto per $C_L=0.3$ globale e Mach di volo $M_\infty=0.85$	
fra l'ala curva elastica e l'ala curva rigida.....	pag.207
10.3 Confronto per $C_L=0.33$ globale e Mach di volo $M_\infty=0.85$	
fra l'ala a freccia elastica e l'ala a freccia rigida.....	pag.224
10.4 Confronto per $C_L=0.4$ globale a Mach di volo $M_\infty=0.85$	
fra l'ala curva elastica e l'ala a freccia elastica.....	pag.241
 Capitolo 11.....	 pag.269
Aeroelasticità dinamica.....	pag.269
11.1 Analisi strutturale elastica di confronto fra l'ala curva e	
l'ala a freccia.....	pag.269
 Conclusioni e sviluppi futuri.....	 pag.277
 Bibliografia.....	 pag.279